

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Karlo Ban

Zagreb, 2010

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:
Dr. sc. Zdravko Schauperl

Karlo Ban

Zagreb, 2010

Sažetak rada

U ovom radu opisan je postupak izrade i ispitivanja svojstava kovačkog zavora. U radu je istraživana utjecaj nečistoća, u obliku oksida koji se javlja u procesu na površinama zavora, na njegova mehanička svojstva.

Epruvete su izrađene u kovačnici slobodnim kovanjem, a prvi dio rada, bavi se upravo teorijom kovačkog zavarivanja i izradom epruveta.

Drugi dio rada opisuje proces ispitivanja mehaničkih svojstava na *Fakultetu strojarstva i brodogradnje* Sveučilišta u Zagrebu.

Sadržaj

Popis slika	1
Popis tablica	1
Popis oznaka	1
Izjava	2
1. Uvod	3
2. Izrada epruveta	4
3. Toplinska obrada epruveta	7
4. Brušenje epruveta	8
5. Rezultati ispitivanja udarne radnje loma	9
6. Mikrostruktura	11
7. Zaključak	14
8. Literatura	15

Popis slika

Slika 1a. Osiguravanje kontakta sljubnica zavarom	4
Slika 1b. Osiguravanje kontakta sljubnica oblikom obratka	4
Slika 2. Složeni i osigurani slojevi kao priprema za kovačko zavarivanje	5
Slika 3. Otkivak	6
Slika 4. Priprema sirovine za izradu epruvete.	6
Slika 5. Električna peć u kojoj je proveden sferoidizacija	7
Slika 6. Epruveta nakon brušenja	8
Slika 7. Planska brusilica korištena za brušenje epruveta	8
Slika 8. Charpyev bat	9
Slika 9. Slomljena epruveta	10
Slika 10. Mikrostruktura uzorka iz treće skupine epruveta	11
Slika 11. Mikrostruktura uzoraka iz prve (a) i druge (b) skupine epruveta	11
Slika 12. Mikroskop Olympus GX 51	12
Slika 13. Uređaj za brušenje i poliranje <i>Buehler</i>	12
Slika 14. Uzorci u kalupima zaliveni smolom.	13

Popis tablica

Tablica 1. Parametri sferoidizacijskog žarenja	7
Tablica 2. Rezultati ispitivanja na charpyevom batu	9

Popis oznaka

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
a_0	mm	visina epruvete
b_0	mm	širina epruvete
S_0	mm ²	površina poprečnog presjeka epruvete na zarezu
K	J	iznos dinamičke žilavosti

Izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad koristeći se stečenim znanjem i iskustvom, te informacijama prikupljenim iz literature i sa Interneta. Zahvaljujem se prof. Dr. sc. Zdravko Schauperlu, mentor ovog rada, na stručnoj pomoći pri izradi ovog rada.

Karlo Ban

1. Uvod

Tema ovog rada je ispitivanje udarne radnje loma kovačkog zavara na charpyevom batu, a istražuje se, kao što je napomenuto u sažetku rada; da li nečistoće, u obliku oksida, koji se javlja u procesu, na površinama zavara (sljubnica), utječu na njegova mehanička svojstva. Istraživanje proizlazi iz želje da se pokuša skratiti priprema za sam proces zavarivanja, što bi se očitovalo kroz izbacivanje dijela procesa – čišćenje površine zavara od oksida, brušenjem.

U svrhu ispitivanja, izrađene su tri skupine uzoraka, od kojih svaka sadržava po pet epruveta, različitog načina izrade. Prvoj skupini sljubnice su čišćene brušenjem dok su drugoj skupini iste, namjerno podvrgnute oksidaciji. Treća skupina epruveta dobivena rezanjem i brušenjem, bez kovanja i služila je kao kontrolna skupina. Naknadno, sve su prošle toplinsku obradu kojom je osigurana ujednačenost mikrostrukture.

2. Izrada epruveta

Proces kovačkog zavarivanja [1] sastoji se od dvije operacije. Prva operacija podrazumijeva dovođenje površina (sljubnica) koje se zavaruju u kontakt te osiguravanje kontakta od pomicanja, primjerice, željeznom žicom, zavarom (slika 1a), oblikom površina, oblikom obratka (slika 1b) i sl.



Slika 1a. Osiguravanje kontakta sljubnica zavarom



Slika 1b. Osiguravanje kontakta sljubnica oblikom obratka

Slijedi umetanje u peć i zagrijavanje do 800 °C (crvenog usijanja) te obilato posipavanje područja zavora boraksom i/ili sitnim kvarcnim pijeskom, ponovo umetanje u peć i zagrijavanje do 1300 °C (bijelog usijanja). Boraks će se, kao i kvarcni pijesak, pri temperaturi od 800°C otopiti i postati tekućina, a principom mikrokapilarnosti ući između površina zavora i time spriječiti nastajanje željeznih oksida koji mogu nepovoljno utjecati na čvrstoću zavora. Također, smanjiti će trenje između površine zavora i već nastalih oksida prilikom izlaska oksida iz zavora pod pritiskom udaraca.

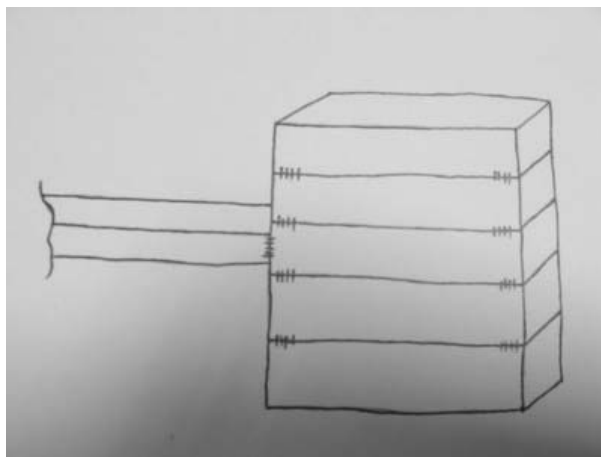
Slijedeća operacija je samo zavarivanje. Obradak se brzo izvlači iz peći i odlaže na nakovanj, te se prvim blažim udarcima odstranjuje dio troske (oksida otopljenih u boraksu) između površina zavora, a potom slijede brzi i jaki udarci čekićem uz sukcesivno okretanje zavora za 90°.

Uz konstantne udarce, padom temperature do ispod 1000 °C, proces zavarivanja je završen. Svako daljnje kovanje, ukoliko je potrebno, vrši se na temperaturama propisanim za kovanje karakterističnog čelika, koje su, u većini slučajeva, manje od spomenute temperature kovačkog zavarivanja.

Prema prethodno opisanom procesu kovačkog zavarivanja, izradio sam dvije skupine od po pet epruveta. Sirovina za izradu svih epruveta je bila šipka pravokutnog profila 15x15 mm, iz čelika Č.1530.

Prva skupina epruveta (sljubnice oksidirane)

Prije samog zavarivanja, bilo je potrebno sljubnice izložiti oksidacijskog atmosferi, što je učinjeno u kovačkoj peći na temperaturi do 800 °C u trajanju od 2 minute, a zatim je šipka rezana na komade duljine od 50 mm, te oni slagani jedan na drugi u 5 slojeva i osigurani poprečnim zavarom. Konačni oblik prije samog kovačkog zavarivanja, prikazan je na slici 2.



Slika 2. Složeni i osigurani slojevi kao priprema za kovačko zavarivanje

Zbog otežane kontrole tako malog komada kliještima, na jedan kraj, zavarena je šipka koja je služila za manipulaciju. Naknadno je ta šipka, sa viškom materijala, odstranjena. Nakon kovačkog zavarivanja i odrezivanja viška materijala, otkivak je još nekoliko puta morao biti zagrijavan i kovan do željenih dimenzija poprečnog presjeka (12x12 mm), prikazan je na slici 3.



Slika 3. Otkivak

Istim postupkom izrađene su još 4 epruvete, tako je u konačnici bilo 5 epruveta prve skupine.

Druga skupina epruveta (sljubnice brušene)

Izrada druge skupine epruveta u potpunosti je ista kao i izrada prve skupine epruveta uz osnovnu razliku da su se sljubnice brusile. Iako je površina bila iznimno slabo oksidirala, postupak je obavljen na svim sljubnicama.

Treća skupina epruveta

Kao što je već napomenuto, sirovina za izradu epruveta je šipka pravokutnog poprečnog presjeka dimenzija 15x15 mm, iz koje su izrezane epruvete i time pripremljene za toplinsku obradu te naknadno brušenje na dimenzije epruvete (slika 4).



Slika 4. Priprema sirovine za izradu epruveta.

3. Toplinska obrada epruveta

Uniformnost mikrostrukture svih ispitnih epruveta bitan je elementi ispitivanja. Za postizanje istih bilo je potrebno provesti određenu toplinsku obradu. Također, osim izjednačavanja svojstava, bilo je bitno ukloniti zaostala naprezanja unesena kovanjem.

Razlika u strukturi pojedinih skupina epruveta, proizašla je iz različitih procesa izrade istih. Treća skupina imala je meko žarenu strukturu, kao takva je kupljena, dok su druge dvije skupine (skupina 1 i 2) imale kovanu mikrostrukturu.

Kao toplinska obradu odabrano je žarenje na meko zrno (sferoidizacijsko žarenje) [2] iz nekoliko razloga; uklanjanje zaostalih naprezanja, budući je žarenje za uklanjanje zaostalih naprezanja, kao toplinska obrada sadržana, u parametrima sferoidizacije. Također, naknadni troškovi brušenja epruveta se smanjuju, zbog bolje obradljivosti čelika.

Sferoidizacija je provedena u električnoj peći (slika 5) u inertnoj atmosferi sa parametrima danima u tablici 1. Koristio sam usluge firme CRC u Zagrebu.



Slika 5. Električna peć u kojoj je proveden sferoidizacija

Tablica 1. Parametri sferoidizacijskog žarenja

Parametar	Značenje	Oznaka	Vrijednost i mj.
Temperatura toplinske obrade	Temperatura toplinske obrade (općenito)	$\Theta_{T.O.}$	738°C
Grijanje	Suma trajanja ugrijavanja i progrijavanja	t	5 min
Držanje	Trajanje boravka predmeta na $\Theta_{T.O.}$ od časa kada je on progrijan do časa početka ohlađivanja	t	25 min
Ohlađivanje	Trajanje snižavanja temperature do trenutka izjednačavanja temperature slojeva jezgre sa okolišem	t	8 h

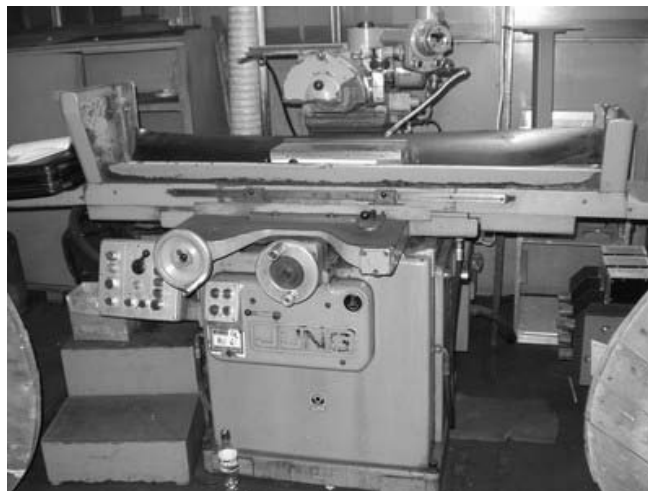
4. Brušenje epruveta

Strojno brušenje epruveta odrađeno je u kovino tokarskoj radioni. Dimenzije epruveta prije brušenja, prve i druge skupine, bile su 12x12x60 mm, uz tolerancije od ± 1 mm. Slika 6 prikazuje brušenu epruvetu, spremnu za ispitivanje. Dimenzije treće skupine epruveta prije brušenja su bile 15x15x60 mm.



Slika 6. Epruveta nakon brušenja

Za brušenje epruveta korištena je planska brusilica prikazana na slici 7. Brušeno je uzduž epruveta, radi umanjivanja mogućeg zareznog djelovanja tragova brušenja.



Slika 7. Planska brusilica korištena za brušenje epruveta

5. Rezultati ispitivanja udarne radnje loma

U tablici xx prikazani su rezultati ispitivanja na charpyevom batu (slika 8). Kao što je prethodno navedeno, korištene su standardne epruvete s „V“ utorom dubine 2mm (slika 9) [3]. Ispitivanje je provedeno na *Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu*.

Tablica 2. Rezultati ispitivanja na charpyevom batu.

	Red. broj ispit.	$a_0 \cdot b_0$ [mm]	S_0 [mm ²]	K_v [J]
Prva skupina	1	100	80	14
	2	100	80	14
	3	100	80	12,5
	4	100	80	14
	5	100	80	13,5
Druga skupina	1	100	80	14
	2	100	80	14
	3	100	80	16
	4	100	80	14
	5	100	80	14
Treća skupina	1	100	80	14
	2	100	80	14
	3	100	80	14
	4	100	80	14
	5	100	80	13



Slika 8. Charpyev bat



Slika 9. Slomljena epruveta

Prva skupina epruveta, izrađena bez uklanjanja oksida, prema rezultatima u tablici 2, ima najnižu udarnu radnju loma, pa se zaključuje slijedeće; prema rezultatima ispitivanja udarne radnje loma, sa relativnom sigurnošću, moguće je ustvrditi da pri karakterističnim uvjetima pripreme i procesa kovačkog zavarivanja, niskolegiranih, niskougljičnih čelika, sa i bez brušenja sljubnica, razlika u dinamičkoj žilavosti, iako minimalna, postoji.

6. Mikrostruktura

Iz svake skupine, za analizu mikrostrukture, pripremljen je po jedan uzorak. Uzorci su dobiveni rezanjem epruveta na komade veličine 10x10x10 mm. Za analizu je pripremljena površina poprečnog presjeka epruvete.

Priprema uzoraka započinje zalijevanjem istih smolom u kalupima radi lakše manipulacije. Korištena je dvokomponentna akrilna smola *Varidur 200*. Uzorci u kalupima su prikazani na slici 10.



Slika 10. Uzorci u kalupima zaliveni smolom.

Nakon skrućivanja smole, uzorci su izvađeni iz kalupa te podvrgnuti brušenju i poliranju. Korišten je uređaj za brušenje i poliranje *Buehler* (slika 11). Protokol brušenja i poliranja definiran je od strane proizvođača stroja.



Slika 11. Uređaj za brušenje i poliranje *Buehler*

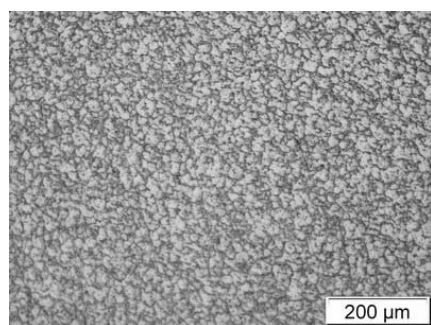
Zadnji postupak u izradi uzoraka je nagrivanje površine kiselinom. Korištena kiselina je 5% nital u trajanju od 10 sekundi, nakon čega je slijedilo čišćenje u etanolu te potom vodi.

Za svaki uzorak snimljena je fotografija nagrivena površine mikroskopom *Olympus GX 51* koji se nalazi na slici 12.

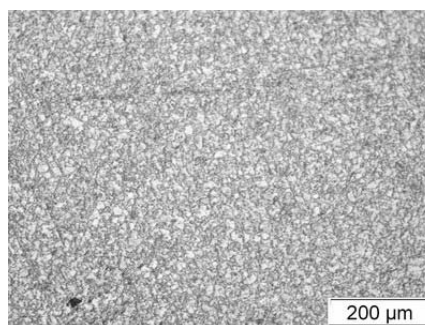


Slika 12. Mikroskop Olympus GX 51

Sve fotografije snimljene su uz povećanje od 200x. Na slici xx nalazi se mikrostruktura uzoraka iz prve (slika 13a) i druge (slika 13b) skupine epruveta.



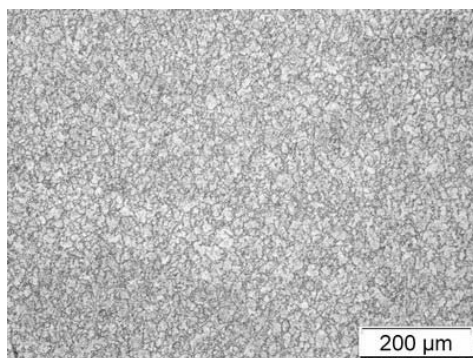
a)



b)

Slika 13. Mikrostruktura uzoraka iz prve (a) i druge (b) skupine epruveta

Vizualnom analizom cjelokupnih površina obiju uzoraka pokušane su naći bilo kakve naznake necjelovitog zavarivanja sljubnica u obliku mikropukotina, međutim, nije pronađeno ništa što bi upućivalo na iste. Također, nisu uočene niti naznake koje bi upućivale na moguće razugličenje, posebice u površinskim slojevima epruvete. Kontrolnoj, trećoj skupini epruveta, čija je mikrostruktura prikazana na slici x14, cjelokupna površina, također je vizualno analizirana.



Slika 14. Mikrostruktura uzorka iz treće skupine epruveta

Vizualnom usporedbom mikrostrukture uzorka iz treće skupine, sa prethodna dva, uočena je ujednačenost mikrostrukture sva tri uzorka po cijelom presjeku u udjelima ferita i perlita te veličina zrna. Što upućuje na kvalitetno izvedenu toplinsku obradu.

Analizom mikrostrukture moguće je ustvrditi, sa određenom sigurnošću, da do razlike u rezultatima prethodnog ispitivanja udarne radnje loma nije došlo zbog loše izrade epruveta, već zbog povišenog udjela kisika [4].

7. Zaključak

Iako je ispitivanje ukazalo na određenu razliku u udarnoj radnji loma, za veću sigurnost tvrdnje potrebno bi bilo provesti daljnja ispitivanja uključivši ispitivanje vlačne čvrstoće te analizu sastava područja zavora.

8. Literatura

- [1] Metals Handbook, Forging, prvi dio, ASM, Ohio, SAD, 1972.
- [2] Stupnišek, M., Cajner, F., Osnove toplinske obrade metala, Hrvatsko društvo za toplinsku obradu, Zagreb, 1996.
- [3] Frantz, M., Mehanička svojstva materijala, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1998.
- [4] Filetin, T., Kovačiček, F., Indof, J., Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.